

OPTICAL WAVEGUIDE ELEMENT AND SEMICONDUCTOR LASER DEVICE**Publication number:** JP2002131567**Publication date:** 2002-05-09**Inventor:** FUKUNAGA TOSHIAKI**Applicant:** FUJI PHOTO FILM CO LTD**Classification:**

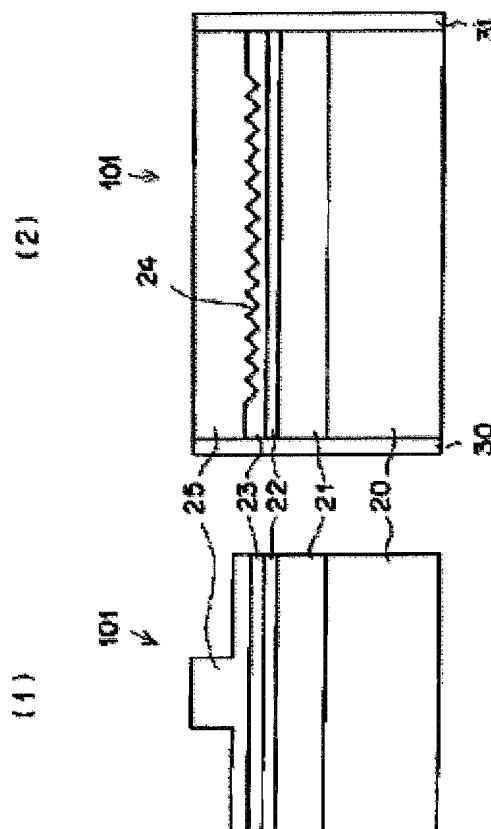
- international: G02B6/42; G02B6/122; G02F1/377; H01S3/06;
H01S5/026; G02B6/42; G02B6/122; G02F1/35;
H01S3/06; H01S5/00; (IPC1-7): G02B6/122; G02B6/42;
G02F1/377; H01S3/06; H01S5/026

- European:**Application number:** JP20000322999 20001023**Priority number(s):** JP20000322999 20001023

Report a data error here

Abstract of JP2002131567

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve mode matching between a semiconductor laser element and an optical waveguide which are directly combined by confining light into the optical waveguide in a satisfactorily high level, in an optical waveguide element which is directly combined to the semiconductor laser element. **SOLUTION:** At least an $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ lower clad layer 21 ($0.4 \leq x1 \leq 1$), a GaN core layer 22, an $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ first upper clad layer 23 ($x2 \leq x1 - 0.1$ or $x1 + 0.1 \leq x2$) and an $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ second upper clad layer 25 are formed on a GaN substrate 20 in this order. A refractive index waveguide mechanism consisting of a ridge shaped stripe 24 which confines light in the lateral direction is formed in the first upper clad layer 23 to interrupt modes other than a basic lateral mode.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-131567

(P2002-131567A)

(43) 公開日 平成14年5月9日(2002.5.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 2 B	6/122	G 0 2 B 6/42	2 H 0 3 7
	6/42	G 0 2 F 1/377	2 H 0 4 7
G 0 2 F	1/377	H 0 1 S 3/06	B 2 K 0 0 2
H 0 1 S	3/06	5/026	5 F 0 7 2
	5/026	G 0 2 B 6/12	A 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-322999(P2000-322999)

(22) 出願日 平成12年10月23日(2000.10.23)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 福永 敏明

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外1名)

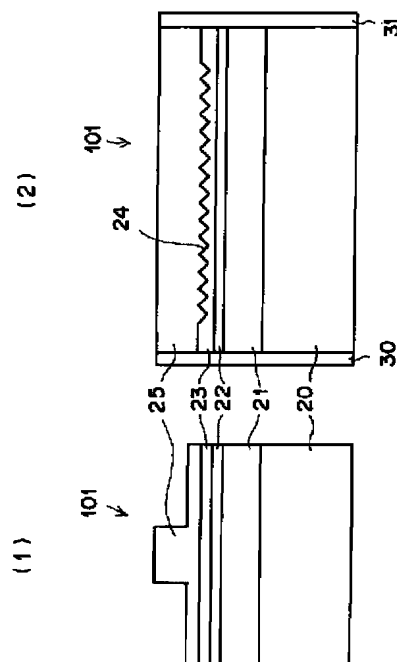
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路素子および半導体レーザ装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 半導体レーザ素子と直接結合される光導波路素子において、光導波路への光閉じ込めを十分に高くし、直接結合された半導体レーザ素子と光導波路とのモードマッチングを良好にする。

【解決手段】 GaN基板20上に少なくとも $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 下部クラッド層21 ($0.4 \leq x_1 \leq 1$)、GaNコア層22、 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 上部第一クラッド層23 ($x_2 \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x_2$)、 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 上部第二クラッド層25をこの順に形成する。そして上部第一クラッド層23に、横方向に光を閉じ込めるリッジ状ストライプ24からなる屈折率導波機構を形成して、基本横モード以外のモードを遮断する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に光導波路が形成されてなり、この光導波路の端面に半導体レーザ素子が直接結合される光導波路素子において、

GaN 基板上に少なくとも $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 下部クラッド層 ($0.4 \leq x \leq 1$)、GaN コア層、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 上部第一クラッド層 ($x \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x \leq 2$)、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 上部第二クラッド層がこの順に形成されてなり、

前記上部第一クラッド層に、横方向に光を閉じ込めるリッジ状ストライプからなる屈折率導波機構が形成されて、基本横モード以外のモードを遮断するようになっていることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 2】 前記リッジ状の部分が、前記上部第二クラッド層の途中まで形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路素子。

【請求項 3】 基板上に光導波路が形成されてなり、この光導波路の端面に半導体レーザ素子が直接結合される光導波路素子において、

GaN 基板上に少なくとも $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 下部クラッド層 ($0.4 \leq x \leq 1$)、GaN コア層、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 上部第一クラッド層 ($x \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x \leq 2$)、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 上部第二クラッド層、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 光閉じ込め層 ($0.3 \leq x \leq 1$)、該光閉じ込め層より高屈折率の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 上部第三クラッド層 ($x \leq x_3$) がこの順に形成されてなり、前記光閉じ込め層にストライプ溝が設けられ、該溝にその上の上部第三クラッド層が埋め込まれることにより屈折率導波機構が形成されて、基本横モード以外のモードを遮断するようになっていることを特徴とする光導波路素子。

【請求項 4】 前記コアの幅が、前記半導体レーザ素子の発振幅と略等しいことを特徴とする請求項 1 から 3 いずれか 1 項記載の光導波路素子。

【請求項 5】 前記光導波路の端面に反射防止コートが形成されていることを特徴とする請求項 1 から 4 いずれか 1 項記載の光導波路素子。

【請求項 6】 前記光導波路における導波光の電界分布が、前記半導体レーザ素子の光導波路入射側端面における光強度分布と略等しいことを特徴とする請求項 1 から 5 いずれか 1 項記載の光導波路素子。

【請求項 7】 前記上部第二クラッド層に、前記 GaN コア層の延びる方向に沿って周期的に繰り返す凹凸から構成されて、半導体レーザ素子の発振波長を選択するグレーティングが形成されていることを特徴とする請求項 1 から 6 いずれか 1 項記載の光導波路素子。

【請求項 8】 請求項 7 記載の光導波路素子と半導体レーザ素子とが直接結合されてなる半導体レーザ装置であって、

前記半導体レーザ素子から発せられた後、前記グレーティングで波長選択された光が該半導体レーザ素子にフィードバックされる構成を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 9】 光通信用の光源として用いられていることを特徴とする請求項 8 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 10】 希土類ドープ光ファイバ増幅器の励起用光源として用いられていることを特徴とする請求項 8 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 11】 固体レーザの励起用光源として用いられていることを特徴とする請求項 8 記載の半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光導波路素子に関し、さらに詳しくは、半導体レーザ素子と直接結合して用いられる光導波路素子に関するものである。

【0002】また本発明は、このような光導波路素子と半導体レーザ素子とが直接結合されてなる半導体レーザ装置に関するものである。

【0003】

【従来の技術】従来より、Si または石英からなる基板上に光導波路が形成されてなる光導波路素子が種々提供されている。このような光導波路素子に光を入射させる光源としては、半導体レーザが用いられる場合も多く、その場合は特開平 10-161165 号や同 10-254001 号に示されるように、半導体レーザを光導波路素子の端面に直接結合させることが広くなされている。

【0004】他方、例えば上記特開平 10-254001 号に示されるように、半導体レーザの発振波長を所定値に選択、ロックするための手法の 1 つとして、いわゆる光フィードバックが知られている。この光フィードバックは、半導体レーザから発せられたレーザ光をグレーティング素子や狭帯域バンドパスフィルタ等の波長選択素子を介して半導体レーザに再入射させ、選択された波長で半導体レーザを発振させる技術である。

【0005】この光フィードバックを行なうための上記グレーティング素子としては、バルク型のグレーティングやファイバグレーティングが用いられることが多いが、前述したような光導波路素子において光導波路に沿ってグレーティングを形成してなるものを用いることもできる。すなわち、そのような構成の光導波路素子においては、光導波路を伝搬する導波光のうちグレーティング周期から定まる特定波長の光のみがグレーティングで回折するので、例えばこのグレーティングで反射回折した光が半導体レーザに戻るようにしておけば、半導体レーザの発振波長を所定値に選択、ロックすることが可能となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記構成の光導波路素

子に半導体レーザを直接結合させてその発振波長を選択、ロックする場合、半導体レーザと光導波路とのモードマッチング（つまり光導波路における導波光の電界分布と、半導体レーザの光導波路入射側端面における光強度分布との整合性）が良好でないと損失が大きくなり、半導体レーザにフィードバックされる光量が低減して高出力化することが困難になる。

【0007】特開平9-80247号には、石英系基板上に形成した光導波路における光閉じ込めを強くして、半導体レーザとのモードマッチングを良好にするようにした光導波路素子が示されている。この光導波路素子は、光導波路のコア部分に比較的容易に高屈折率が得られるSiOxNyHzを用い、その周囲にフッ素を添加したSiO₂ からなるクラッド層を設け、さらにその周囲にSiO₂ からなるクラッド層を設けてなるものである。

【0008】しかし上記構成の光導波路素子においても、コアとその周囲のクラッドとの間の比屈折率差 Δn は2.5%程度で、まだ光閉じ込めが十分とは言えず、そのため、そこに半導体レーザを直接結合した場合、半導体レーザと光導波路とのモードマッチングが良好ではないという問題が認められる。したがって、この光導波路素子を光フィードバックに利用しても、半導体レーザを高出力化することは困難である。

【0009】本発明は上記の事情に鑑みて、光導波路への光閉じ込めが十分に高く、直接結合された半導体レーザ素子と光導波路とのモードマッチングが良好になされ得る光導波路素子を提供することを目的とする。

【0010】また本発明は、前述のグレーティングを備えて半導体レーザ素子に光フィードバックをかける光導波路素子において、上記のモードマッチングを良好にし、それによりフィードバック光量を十分に確保して、半導体レーザ素子の高出力化を実現することを目的とする。

【0011】さらに本発明は、上述のような光導波路素子と半導体レーザ素子とが直接結合されてなる半導体レーザ装置において、高出力化を実現することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の光導波路素子は、基板上に光導波路が形成されてなり、この光導波路の端面に半導体レーザ素子が直接結合される光導波路素子において、GaN基板上に少なくとも Al_x 、 Ga_{1-x} N下部クラッド層（ $0.4 \leq x_1 \leq 1$ ）、GaNコア層、 Al_{x_2} 、 Ga_{1-x_2} N上部第一クラッド層（ $x_2 \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x_2$ ）、 Al_{x_1} 、 Ga_{1-x_1} N上部第二クラッド層がこの順に形成されてなり、上記上部第一クラッド層に、横方向に光を閉じ込めるリッジ状ストライプからなる屈折率導波機構が形成されて、基本横モード以外のモードを遮断するようになっていることを特

徴とするものである。

【0013】なお上記リッジ状の部分は、上部第二クラッド層の途中まで形成されていることが望ましい。

【0014】また本発明による第2の光導波路素子は、上記と同様に基板上に光導波路が形成されてなり、この光導波路の端面に半導体レーザ素子が直接結合される光導波路素子において、GaN基板上に少なくとも Al_x 、 Ga_{1-x} N下部クラッド層（ $0.4 \leq x_1 \leq 1$ ）、GaNコア層、 Al_{x_2} 、 Ga_{1-x_2} N上部第一クラッド層（ $x_2 \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x_2$ ）、 Al_{x_1} 、 Ga_{1-x_1} N上部第二クラッド層、 Al_{x_3} 、 Ga_{1-x_3} N光閉じ込め層（ $0.3 \leq x_3 \leq 1$ ）、該光閉じ込め層より高屈折率の Al_{x_4} 、 Ga_{1-x_4} N上部第三クラッド層（ $x_4 < x_3$ ）がこの順に形成されてなり、上記光閉じ込め層にストライプ溝が設けられ、該溝にその上の上部第三クラッド層が埋め込まれることにより屈折率導波機構が形成されて、基本横モード以外のモードを遮断するようになっていることを特徴とするものである。

【0015】なお、本発明による光導波路素子において、GaNコア層の幅は、半導体レーザ素子の発振幅と略等しいことが望ましい。また光導波路の端面には、反射防止コートが形成されていることが望ましい。

【0016】さらに、光導波路における導波光の電界分布は、半導体レーザ素子の光導波路入射側端面における光強度分布と略等しいことが望ましい。

【0017】さらに本発明による光導波路素子において、上部第二クラッド層には、前記GaNコア層の延びる方向に沿って周期的に繰り返す凹凸から構成されて、半導体レーザ素子の発振波長を選択するグレーティングが形成されていることが望ましい。

【0018】他方、本発明による半導体レーザ装置は、上述のように上部第二クラッド層に半導体レーザの発振波長を選択するグレーティングが形成された本発明の光導波路素子を用いた半導体レーザ装置であって、半導体レーザ素子から発せられた後、前記グレーティングで波長選択された光が該半導体レーザ素子にフィードバックされる構成を有することを特徴とするものである。

【0019】以上のような構成を有する本発明の半導体レーザ装置は、光通信用の光源、希土類ドープ光ファイバ増幅器の励起用光源、さらには固体レーザの励起用光源として好適に用いることができる。

【0020】

【発明の効果】本発明による第1の光導波路素子は、GaN基板上に少なくとも Al_x 、 Ga_{1-x} N下部クラッド層（ $0.4 \leq x_1 \leq 1$ ）、GaNコア層、 Al_{x_2} 、 Ga_{1-x_2} N上部第一クラッド層（ $x_2 \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x_2$ ）、 Al_{x_1} 、 Ga_{1-x_1} N上部第二クラッド層を形成した上で、上部第一クラッド層に、横方向に光を閉じ込めるリッジ状ストライプからなる屈折率導波機構を形成して、基本横モードのみで導波させるようにしたことによ

り、光導波路における光閉じ込めが著しく強くて、直接結合された半導体レーザと光導波路とのモードマッチングが良好になされ得るものとなる。

【0021】一方、本発明による第2の光導波路素子は、GaN基板上に少なくとも $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}$ N下部クラッド層 ($0.4 \leq x_1 \leq 1$)、GaNコア層、 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}$ N上部第一クラッド層 ($x_2 \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x_2$)、 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}$ N上部第二クラッド層、 $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}$ N光閉じ込め層 ($0.3 \leq x_3 \leq 1$)、該光閉じ込め層より高屈折率の $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}$ N上部第三クラッド層 ($x_4 < x_3$) を形成した上で、上記光閉じ込め層にストライプ溝を設け、該溝にその上の上部第三クラッド層を埋め込むことにより屈折率導波機構を形成して、基本横モードのみで導波させるようにしたことにより、上記第1の光導波路素子と同様に光導波路における光閉じ込めが著しく強くて、直接結合された半導体レーザと光導波路とのモードマッチングが良好になされ得るものとなる。

【0022】また、これらの光導波路素子においては、光導波路のコアをGaNから形成しているため、 $\Delta n \equiv$ (コアの屈折率-クラッドの屈折率)/コアの屈折率で定義されるコアとクラッドとの間の比屈折率差 Δn を、前述した特開平9-80247号に示された2.5%より著しく高い14%程度まで高くすることも可能である。それにより、光導波路における光閉じ込めが特に強くなるので、上述した効果が特に顕著なものとなる。

【0023】その上本発明による光導波路素子は、GaN基板上にAlGaN系材料の結晶を成長させて構成したので、簡単な劈開により共振器面を形成することができる。一方、先に挙げた特開平9-80247号に示されるように、石英系基板を用いて光導波路における光閉じ込めを強くするようにした従来の光導波路素子では、共振器面を形成するために石英系基板を高精度に光学研磨する必要がある。したがって本発明による光導波路素子は、この種の従来の光導波路素子と比較して、より低いコストで製造可能となる。

【0024】そして本発明の光導波路素子のうち、特に上部第二クラッド層に半導体レーザ素子の発振波長を選択するグレーティングを形成して、このグレーティングで波長選択された光が半導体レーザ素子にフィードバックされる構成としたものにおいては、上記の通りモードマッチングが良好になされることにより、フィードバック光量が十分に確保されて、半導体レーザ素子の高出力化を実現可能となる。

【0025】したがって、上述のように半導体レーザ素子の発振波長を選択するグレーティングが形成された光導波路素子を用いた本発明の半導体レーザ装置は、フィードバック光量が十分に確保されて、高出力化を達成できるものとなる。

【0026】また本発明の光導波路素子において、光導

波路における導波光の電界分布が、半導体レーザ素子の光導波路入射側端面における光強度分布の光強度分布と略等しくなっていれば、半導体レーザ素子と光導波路とのモードマッチングが最大限良好になされるようになる。

【0027】以上の通り本発明によれば、単一モードレーザ光の波長安定化を低ロスでコンパクトな光導波路素子によって行うことができる。また、従来装置において半導体レーザ素子のモードロックに要していたグレーティング光学系を省略することができるので、コンパクトで部品点数の少ない低コストの半導体レーザ光源、さらにはSHG(第2高調波発生)光源等を提供可能となる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1の(1)および(2)はそれぞれ、本発明の第1の実施形態による光導波路素子101の立断面形状および側断面形状を示すものである。これらの図を参照して、本実施形態の光導波路素子101をその作製方法とともに説明する。

【0029】まずGaN基板20の上に、有機金属気相成長法により、 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}$ N下部クラッド層21 ($0.4 \leq x_1 \leq 1$ 、 $3 \mu\text{m}$ 厚)、GaNコア層22 ($0.4 \mu\text{m}$ 厚)、 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}$ N上部第一クラッド層23 ($x_2 \leq x_1 - 0.1$ または $x_1 + 0.1 \leq x_2$ 、 $0.08 \mu\text{m}$ 厚)を形成する。

【0030】その上に、後述する発振波長 $1.06 \mu\text{m}$ の半導体レーザの縦モードを選択するグレーティングを形成するために、厚さ 100 nm 程度の薄膜レジストを形成し、He-Cdレーザ光源を用いた干渉露光法により周期 $\Lambda = \lambda / 2n_{\text{eff}}$ のグレーティングパターンを形成し、 Cl_2 ガスを用いたドライエッチングにより深さ 60 nm のグレーティング24を基板の全面または、素子長よりも短い所定の領域に形成する。なお上記の n_{eff} はGaN光導波路を導波する光の等価屈折率、 λ は導波光の波長である。

【0031】次に O_2 プラズマアッシングによってレジストを剥離した後、 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}$ N上部第二クラッド層25 (約 $3 \mu\text{m}$ 厚)を堆積する。その後この上部第二クラッド層25の上に、通常のフォトリソ法により $3 \mu\text{m}$ 幅のレジストマスクを形成し、次いで Cl_2 ガスを用いたドライエッチングにより、上記レジストマスクが形成されていない部分の上部第二クラッド層25を途中までエッチングする。それにより、上部第二クラッド層25にリッジ構造が形成される。このエッチングにおける上部第一クラッド層23からのエッチング残し厚は、基本横モードのみが許容される厚みとする。

【0032】以上の各層が形成された基板を劈開によって長さ 5 mm のバーに切断し、そのバーの両端面に反射率0.1%程度のARコート30、31を蒸着法によって形成する。さらにこのバーを劈開によってチップ状に切断す

ると、本実施形態の光導波路素子101が完成する。

【0033】この光導波路素子101は図1に示されている通り、Ga_N基板20の上にAl_x₁Ga_{1-x}₁N下部クラッド層21、Ga_Nコア層22、グレーティング24が形成されたAl_x₂Ga_{1-x}₂N上部第一クラッド層23、および中央部にリッジ部分を有するAl_x₁Ga_{1-x}₁N上部第二クラッド層25がこの順に形成されてなるものである。この光導波路素子101は、上記リッジ部分が形成されたことにより、光閉じ込めの強い屈折率導波構造を有するものとなっている。この光導波路素子101の使用形態については、後に詳しく説明する。

【0034】なお勿論ながら、上部第一クラッド層23に形成されるグレーティング24の周期は、半導体レーザ素子の特定の発振波長に対応するように限定されるものではなく、所望の発振波長に対応させて適宜設定すればよい。

【0035】またコア幅は、半導体レーザ素子に対して単一横モードの光をフィードバックさせる上では、半導体レーザ素子の発振幅と等しいことが好ましい。そのようなコア幅は、通常、具体的には2〜5μm程度である。

【0036】ここで図8に、Ga_Nコア層22の厚みが0.4μmで屈折率が2.42、Al_x₁Ga_{1-x}₁N下部クラッド層21のx₁=0.5でその屈折率が2.25、Al_x₂Ga_{1-x}₂N上部第一クラッド層23のx₂=0.4でその屈折率が2.28、発振波長が1.06μmである場合の、上記光導波路素子101と半導体レーザ素子における各導波光の光強度分布を比較して示す。ここに示されている通り、両者におけるモードフィールドは互いに良く一致している。なおこの図8の横軸の距離は、Ga_Nコア層22のストライプ幅方向の中央位置を0（ゼロ）とし、そこから左右への距離を示している。

【0037】次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図2の(1)および(2)はそれぞれ、本発明の第2の実施形態による光導波路素子102の立断形状および側断面形状を示すものである。これらの図を参照して、本実施形態の光導波路素子102をその作製方法とともに説明する。

【0038】まずGa_N基板40の上に、有機金属気相成長法により、Al_x₁Ga_{1-x}₁N下部クラッド層41（0.4≤x₁≤1、3μm厚）、屈折率Ga_Nコア層42（0.4μm厚）、Al_x₂Ga_{1-x}₂N上部第一クラッド層43（x₂≤x₁-0.1またはx₁+0.1≤x₂、0.08μm厚）を形成する。

【0039】その上に、後述する発振波長1.06μmの半導体レーザの縦モードを選択するグレーティングを形成するために、厚さ100nm程度の薄膜レジストを形成し、He-Cdレーザ光源を用いた干渉露光法により周期Λ=λ/2n_{eff}のグレーティングパターンを形成し、C₁₂ガスをを用いたドライエッチングにより深さ

60nmのグレーティング44を基板の全面または、素子長よりも短い所定の領域に形成する。なお上記のn_{eff}はGa_N光導波路を導波する光の等価屈折率、λは導波光の波長である。

【0040】次にO₂プラズマアッシングによってレジストを剥離した後、Al_x₁Ga_{1-x}₁N上部第二クラッド層45（約3μm厚）およびAl_x₃Ga_{1-x}₃N光閉じ込め層46（0.3≤x₃≤1、約1μm厚）を堆積する。その後この光閉じ込め層46の上に、通常のフォトリソ法により3μm幅の開口を有するレジストマスクを形成し、次いでC₁₂ガスをを用いたドライエッチングにより、上記開口部分の光閉じ込め層46を上部第二クラッド層45が露出するまでエッチングする。引き続きその上に、Al_x₄Ga_{1-x}₄N上部第三クラッド層47（x₄<x₃、約3μm厚）を堆積する。

【0041】ここで、第二クラッド層45の厚みと組成、光閉じ込め層46および上部第三クラッド層47の組成は、基本横モードのみが許容される組成とする。

【0042】以上の各層が形成された基板を劈開によって長さ5mmのバーに切断し、そのバーの両端面に反射率0.1%程度のARコート50、51を蒸着法によって形成する。さらにこのバーを劈開によってチップ状に切断すると、本実施形態の光導波路素子102が完成する。

【0043】この光導波路素子102は図2に示される通り、Ga_N基板40の上にAl_x₁Ga_{1-x}₁N下部クラッド層41、Ga_Nコア層42、グレーティング44が形成されたAl_x₂Ga_{1-x}₂N上部第一クラッド層43、Al_x₁Ga_{1-x}₁N上部第二クラッド層45、Al_x₃Ga_{1-x}₃N光閉じ込め層46およびAl_x₄Ga_{1-x}₄N上部第三クラッド層47が形成され、そして光閉じ込め層46に形成されたストライプ溝に上部第三クラッド層47が埋め込まれてなるものである。この光導波路素子102は、上記埋め込み部分が形成されたことにより、光閉じ込めの強い屈折率導波構造を有するものとなっている。

【0044】なお本実施形態でも、上部第一クラッド層43に形成されるグレーティング44の周期は、半導体レーザ素子の特定の発振波長に対応するように限定されるものではなく、所望の発振波長に対応させて適宜設定すればよい。

【0045】またコア幅は、半導体レーザ素子に対して単一横モードの光をフィードバックさせる上では、半導体レーザ素子の発振幅と等しいことが好ましい。そのようなコア幅は、通常、具体的には2〜5μm程度である。

【0046】次に図3を参照して、本発明の第3の実施形態である半導体レーザ装置について説明する。この半導体レーザ装置は、図1に示した光導波路素子101と基本横モード発振する半導体レーザ素子60とからなるものである。光導波路素子101は図示の通りCuマウント63上に実装され、同じくCuマウント61上に実装された発

10

20

30

40

50

振波長 $1.06\mu\text{m}$ の基本横モード発振する半導体レーザ素子60と直接結合される。この直接結合は、光導波路素子101のGaNコア層22の端面と半導体レーザ素子60のストライプ64の後端面（図中の左端面で、無反射コートが形成されている）とが密接、あるいは微小距離をおいて近接する状態にして、Cuマウント61とCuマウント63とを互いに固定することによってなされる。

【0047】半導体レーザ素子60のストライプ64の前端面（図中の右端面で、低反射コートが形成されている）からは使用光としてのレーザ光65が出射し、一方その後端面からは、いわゆる後方出射光65Rが出射する。この後方出射光65Rは光導波路素子101のGaNコア層22に入射し、そこを導波モードで伝搬する。このときグレーティング24（図1参照）において、グレーティング周期 Λ と $\Lambda = \lambda / 2n$ 、 r の関係を満たす特定波長 λ の光のみが選択的に反射回折し、その回折した後方出射光65Rが半導体レーザ素子60にフィードバックされる。この光フィードバックがなされることにより半導体レーザ素子60の発振波長は、上記の選択された波長 λ にロックされる。

【0048】光導波路素子101の光導波路は、従来の光導波路と比べると光閉じ込めが著しく強く、そこでの導波光の電界分布は、半導体レーザ素子60の後方端面における光強度分布と略等しい状態となっている。このように極めて良好なモードマッチングが実現されていることにより、半導体レーザ素子60へのフィードバック光量が十分に確保されて、該半導体レーザ素子60の高出力化が達成される。

【0049】次に図4を参照して、本発明の第4の実施形態である半導体レーザ装置について説明する。この半導体レーザ装置は、図1に示した光導波路素子101と基本横モード発振する半導体レーザ素子67とからなるものである。

【0050】光導波路素子101は図示の通りCuマウント63上に実装され、同じくCuマウント61上に実装された発振波長 $1.06\mu\text{m}$ の基本横モード発振する半導体レーザ素子67と直接結合される。この直接結合は、光導波路素子101のGaNコア層22の端面と半導体レーザ素子67のストライプ68の前端面（図中の右端面で、無反射コートが形成されている）とが密接、あるいは微小距離をおいて近接する状態にして、Cuマウント61とCuマウント63とを互いに固定することによってなされる。なお半導体レーザ素子67のストライプ68の後端面（図中の左端面）には、高反射コートが形成されている。

【0051】半導体レーザ素子67のストライプ68の前端面からは使用光としてのレーザ光65が出射し、このレーザ光65は光導波路素子101のGaNコア層22に入射し、そこを導波モードで伝搬する。このときグレーティング24（図1参照）において、グレーティング周期 Λ と $\Lambda = \lambda / 2n$ 、 r の関係を満たす特定波長 λ の光の一部が

選択的に反射回折し、その回折したレーザ光65が半導体レーザ素子67にフィードバックされる。この光フィードバックがなされることにより半導体レーザ素子67の発振波長は、上記の選択された波長 λ にロックされる。

【0052】この場合も、光導波路素子101の光導波路は光閉じ込めが著しく強く、そこでの導波光の電界分布は、半導体レーザ素子67の前方端面における光強度分布と略等しい状態となっている。このように極めて良好なモードマッチングが実現されていることにより、半導体レーザ素子67へのフィードバックの効率が高くなるので、フィードバック時の光量の損失が少なくなり、該半導体レーザ素子67の高出力化が達成される。

【0053】次に図5を参照して、本発明の第5の実施形態である半導体レーザ装置について説明する。この半導体レーザ装置は、図3に示した構成に光波長変換素子80が付加されてなるものである。なおこの図5において、図3中の要素と同等の要素には同番号を付し、それらについては特に必要のない限り説明を省略する（以下、同様）。

【0054】本例では、半導体レーザ素子60の前端面側が導波路型の光波長変換素子80に直接結合されている。この光波長変換素子80は一例として、非線形光学材料である、MgOがドーピングされたLiNbO₃。基板81にチャンネル光導波路82が形成され、そしてこのチャンネル光導波路82に沿って周期ドメイン反転構造83が形成されてなるものである。

【0055】なお上記光波長変換素子80はCuマウント84に固定され、このCuマウント84およびCuマウント63がCuマウント61に固定されている。またCuマウント61はベルチェ素子85の上に固定されている。そしてこのベルチェ素子85により、光波長変換素子80、光導波路素子101および半導体レーザ素子60が所定の温度に温度調節される。

【0056】半導体レーザ素子60の前端面から出射した波長 $1.06\mu\text{m}$ のレーザ光65は光波長変換素子80の光導波路82に入射し、そこを伝搬する際に波長が $1/2 = 0.53\mu\text{m}$ の第2高調波86に変換される。このとき、周期ドメイン反転構造83によって位相整合（疑似位相整合）が取られる。得られた第2高調波86は光波長変換素子80から出射し、ビームスプリッタ87を透過した第2高調波86が所定の用途に使用される。

【0057】ビームスプリッタ87で反射した一部の第2高調波86は光検出器88に検出され、この光検出器88が出力する光検出信号SはAPC（Automatic Power Control）回路89に入力される。APC回路89は入力された光検出信号Sに基づいて半導体レーザ素子60の駆動電流Iを制御し、それにより、第2高調波86の光強度が一定化される。

【0058】次に図6を参照して、本発明の第6の実施形態である半導体レーザ装置について説明する。この半

10

20

30

40

50

導体レーザ装置は、図4に示した構成に光波長変換素子80が付加されてなるものである。

【0059】本例では、光導波路素子101の前端面側が導波路型の光波長変換素子80に直接結合されている。なお上記光波長変換素子80はCuマウント84に固定され、このCuマウント84がCuマウント63に固定され、このCuマウント63がCuマウント61に固定されている。またCuマウント61はペルチェ素子85の上に固定されている。そしてこのペルチェ素子85により、光波長変換素子80、光導波路素子101および半導体レーザ素子60が所定の温度に温度調節される。

【0060】光導波路素子101の前端面から出射した波長1.06μmのレーザ光65は光波長変換素子80の光導波路82に入射し、そこを伝搬する際に波長が $1/2 = 0.53\mu\text{m}$ の第2高調波86に変換される。このとき、周期ドメイン反転構造83によって位相整合（疑似位相整合）が取られる。得られた第2高調波86は光波長変換素子80から出射し、ビームスプリッタ87を透過した第2高調波86が所定の用途に使用される。

【0061】ビームスプリッタ87で反射した一部の第2高調波86は光検出器88に検出され、この光検出器88が出力する光検出信号SはAPC（Automatic Power Control）回路89に入力される。APC回路89は入力された光検出信号Sに基づいて半導体レーザ素子67の駆動電流Dを制御し、それにより、第2高調波86の光強度が一定化される。

【0062】次に図7を参照して、本発明の第7実施形態の半導体レーザ装置200および第8実施形態の半導体レーザ装置300について説明する。

【0063】一方の半導体レーザ装置200は、図4に示した半導体レーザ装置と同様に基本横モード発振する半導体レーザ素子201と、この基本横モード発振する半導体レーザ素子201の発振波長をロックする光導波路素子202とから構成されている。基本横モード発振する半導体レーザ素子201は発振波長帯が1.5μmのものであり、そこから発せられて光導波路素子202により波長が単一化されたレーザ光203は集光レンズ204で集光されて、光通信用のErドープ光ファイバ90に信号光として入射する。

【0064】他方の半導体レーザ装置300も、図4に示した半導体レーザ装置と同様に基本横モード発振する半導体レーザ素子301と、この基本横モード発振する半導体レーザ素子301の発振波長をロックする光導波路素子302とから構成されている。基本横モード発振する半導体レーザ素子301は発振波長帯が0.98μmのものであり、そこから発せられて光導波路素子302により波長が単一化されたレーザ光303は集光レンズ304で集光されて、合波用の光カップラを構成する光ファイバ91に入射し、この光カップラを介してErドープ光ファイバ90に励起光として入射する。

【0065】Erドープ光ファイバ90は、上記励起光としてのレーザ光303が乗り移る部分からErがドープされていわゆる光ファイバ増幅器を構成しており、入射したレーザ光303によってErが励起されることにより、信号光としてのレーザ光203を増幅して遠距離まで伝搬させる。

【0066】なおErドープ光ファイバ90に入射した励起光としてのレーザ光303は、分波用の光カップラを構成する光ファイバ92に乗り移って、上記信号光としてのレーザ光203に乗り移らないようにErドープ光ファイバ90内から除かれる。

【0067】この例においては、励起光としてのレーザ光303の波長を光導波路素子302により単一化して、Erの吸収ピーク波長と一致させることにより、Erの励起効率を上げることが可能になる。

【0068】また半導体レーザ装置200は、通常の分布帰還型半導体レーザよりも高速変調時の波長チャージングが少ないという利点を有するので、長距離通信用の信号光を発する光源として極めて好適に利用することができる。

【0069】本発明の光導波路素子は、以上説明したような半導体レーザ装置を構成するのみならず、アレイ型半導体レーザや光集積回路等の実装にも対応可能である。そして、本発明の光導波路素子を半導体レーザ素子と組み合わせて発振波長の安定化に用いる場合は、InP基板上に形成される発振波長1.3~1.7μm帯の半導体レーザや、GaAs基板上に形成される発振波長1.1~0.6μm帯の半導体レーザに対しても適用可能である。

【0070】他方、本発明による半導体レーザ装置は、前述した光通信用の信号光源や励起光源として用いる他、情報・画像処理、計測、医療、印刷の分野での光源として応用することもできるし、さらには固体レーザの励起光源や光集積回路等へ適用することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態である光導波路素子の概略立面図(1)および概略側断面図(2)

【図2】本発明の第2の実施形態である光導波路素子の概略立面図(1)および概略側断面図(2)

【図3】本発明の第3の実施形態である半導体レーザ装置の概略側面図

【図4】本発明の第4の実施形態である半導体レーザ装置の概略側面図

【図5】本発明の第5の実施形態である半導体レーザ装置の概略側面図

【図6】本発明の第6の実施形態である半導体レーザ装置の概略側面図

【図7】本発明の第7の実施形態である半導体レーザ装置および第8の実施形態である半導体レーザ装置と、それらの使用形態を示す概略平面図

【図8】本発明の光導波路素子と、それに直接結合され

13

た半導体レーザにおける導波光の光強度分布を比較して示すグラフ

【符号の説明】

- 20 GaN基板
 21 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 下部クラッド層
 22 GaNコア層
 23 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 上部第一クラッド層
 24 グレーティング
 25 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 上部第二クラッド層
 30, 31 ARコート
 40 GaN基板
 41 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 下部クラッド層
 42 GaNコア層
 43 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 上部第一クラッド層
 44 グレーティング
 45 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 上部第二クラッド層
 46 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ 光閉じ込め層
 47 $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{N}$ 上部第三クラッド層
 50, 51 ARコート

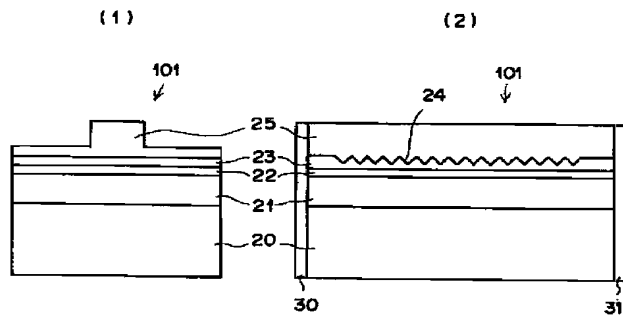
10

*

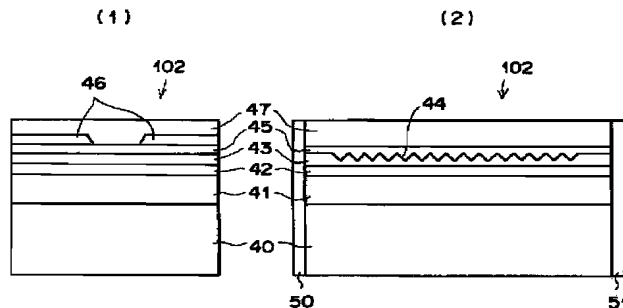
14

- * 60, 67, 201, 301 半導体レーザ素子
 61, 63, 84 Cuマウント
 64, 68 半導体レーザ素子のストライプ
 65, 203, 303 レーザ光
 65R 後方出射光
 80 光波長変換素子
 81 MgOドープLiNbO₃基板
 82 チャンネル光導波路
 83 周期ドメイン反転構造
 85 ベルチェ素子
 86 第2高調波
 87 ビームスプリッタ
 88 光検出器
 89 APC回路
 90 Erドープ光ファイバ
 91, 92 光ファイバ(光カップラ)
 101, 103 光導波路素子
 204, 304 集光レンズ

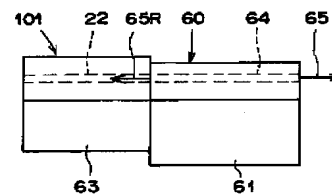
【図1】



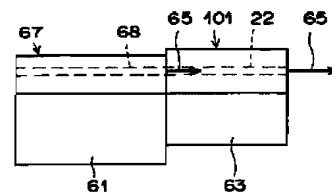
【図2】



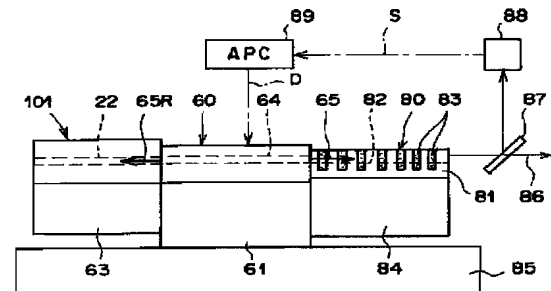
【図3】



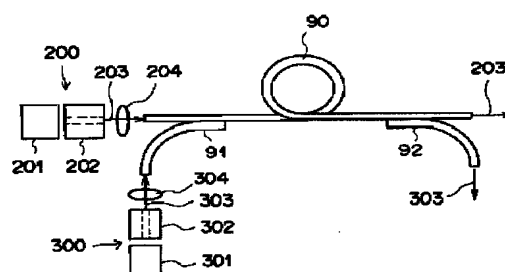
【図4】



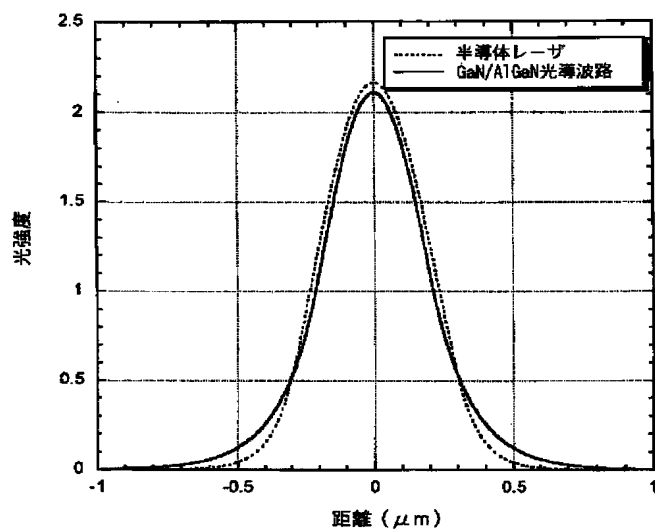
【図5】



【図7】



【图8】



(51) Int.Cl.⁷

F I
G O 2 B 6/12

テーマコード (参考)

B

F ターム (参考)

2H037	BA02	BA24	CA35	CA37
2H047	KA04	KA15	KB09	LA01
	MA07	QA02	QA07	TA32
2K002	AB12	BA01	CA03	DA06
	EA20			
5F072	AB09	AK06	KK30	PP07
	YY17			
5F073	AA65	AA67	AB21	AB25
	BA02	BA09	EA29	FA02
	FA06	FA14	FA25	GA02
	GA12			